

CHANGEMENT CLIMATIQUE EN HAUTE VALLÉE D'OSSOLA (ITALIE): ANALYSE D'ENNEIGEMENT ET RISQUE D'AVALANCHES

TESTA D., ACQUAOTTA F. et FRATIANNI S.

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino, via Valperga Caluso 35 - 10125, Torino, Italia. ,
dani.testa@libero.it, fiorella.acquaotta@unito.it, simona.fratianni@unito.it

Résumé : pour comprendre et réagir au changement climatique de longues et fiables séries climatiques sont nécessaires. Différents projets internationaux ont comme objectif le recouvrement, l'analyse et l'interprétation des données climatiques. La recherche sur le Nord du Piémont (NO Italie) vise à digitaliser deux séries de données climatiques journalières de température, des précipitations et de neige au sol, relatives aux stations de la haute vallée d'Ossola (Alpe Devero et Formazza Vannino). L'historique relatif aux stations est recherché. La qualité des données est recherchée et homogénéisée. Une analyse climatique complète des données avec détermination des tendances significatives et description des principaux événements d'avalanches en relation avec les variables climatiques est réalisée.

Mots-clés : température, neige, changement climatique, avalanches, NO Italie.

Abstract: *Climatic change in the Ossola upper valley (North West Italy): analysis of snow and avalanche risk.*

In order to understand and face climate changes, long and reliable climatic series are required. Different international projects are established with the aim to recover, analyze and interpret climate data. This work carried out in the northern Piedmont (NW Italy) aims at digitalizing two daily climate datasets including temperature, precipitation and snow depth for the weather stations of the Ossola upper valley (Alpe Devero and Formazza Vannino). Information on stations history is gathered. Data quality control and data homogenization are proceeded. A complete climate-related analysis is performed with significant trends assessment and main avalanche events description.

Keywords: temperature, snow, climate changes, avalanches, NW Italy.

Introduction

Durant ces dernières années, différents projets internationaux sont nés qui ont eu comme objectif de faire progresser l'activité de recouvrement des données climatiques. Pour pouvoir comprendre et réagir à la variabilité climatique et au changement climatique, ils ont nécessité des séries climatiques longues, fiables et de très bonnes qualités. Pour réaliser cette étude on a choisi d'analyser les séries des données climatiques relatives aux stations météorologiques de la haute vallée de l'Ossola : Alpe Devero (1634 m) et Formazza Vannino (2177 m), qui répondent à ces exigences.



Figure 1 : Localisation géographique de la zone examinée.

Le travail rentre dans le cadre du projet international ME.DA.RE. (MEditerranean climate DATA REscue), qui vise à promouvoir le recouvrement et la disponibilité des données climatiques de la zone méditerranéenne, et du projet interrégional Italie-Suisse STR.ADA. (STRatégies d'ADaptation aux changements climatiques pour la gestion des risques

naturels), qui vise à étudier les variations dans les séries climatiques de température et précipitations, qui ont intéressé la Vallée d'Ossola dans les dernières décennies.

La Vallée d'Ossola se trouve dans la partie septentrionale du Piémont (NW Italie), dans les Alpes Lépointienne et confine avec la Suisse à Nord, Est et Ouest. Elle est parcourue entièrement par le cours du fleuve Toce et est composée de sept vallées latérales secondaires, subdivisées en Ossola supérieure et inférieure: la zone examinée appartient à la haute Vallée d'Ossola et elle est représentée par les Vallées de Devero et de Formazza.

Le but de ce travail a été d'analyser des données climatiques (températures, précipitations liquides et solides) enregistrées dans ces deux stations météorologiques considérées, pour une analyse climatique complète de la zone afin d'évaluer les variations de tendance des variables ainsi que la détermination des trends sur la période d'observation. Le travail a permis une application: les principaux événements d'avalanches, dans la zone considérée, ont été analysés pour en rechercher les facteurs déclenchants.

1. Données et méthodes

Dans cette étude, on a analysé les données climatiques disponibles à partir de 1951 de deux stations météorologiques de la haute Vallée d'Ossola (Tab. 1): Alpe Devero (1634 m), station à relevés manuels de 1951 et 1991 devenue ensuite station automatique, et Formazza Vannino (2177 m) aux relevés manuels.

Tableau 1 : Localisation et caractéristiques des stations considérées (Alpe Devero e Formazza Vannino).

Station	Type de station	Altitude	Commune	Bassin	Période	Latitude N	Longitude E
Alpe Devero	Automatique	1634 m	Baceno	Ticino	1951-2009	46°19'01"	08°15'40"
Vannino	Manuel	2177 m	Formazza	Ticino	1951-2009	46°23'55"	08°24'07"

Les données n'étaient disponibles qu'aux archives conservées à l'ARPA (Agence Régionale pour la Protection de l'Environnement Lombardie de Milan). Les séries des données journalières ont été récupérées et numérisées: les paramètres considérés concernent la température maximum et minimum, la hauteur de précipitation, l'épaisseur de neige au sol et la hauteur de neige fraîche. L'étape suivante du travail a consisté dans le contrôle de la qualité des données, exécuté avec le logiciel RClimdex (Zhang et Yang, 2004): les séries sont complètes, à l'exception de deux lacunes pour la station de Devero, de septembre 1972 à mai 1973 et de août 1976 à septembre 1976.

L'homogénéité des séries a été vérifiée avec le logiciel AnClim (Stèpanek, 2005), par l'application du *t* Test di Student (Wang *et al.*, 2007): après la détermination des inhomogénéités, la méthode d'homogénéisation SPLIDHOM (Mestre *et al.*, 2009) a été appliquée. Cette méthode effectuée, par régression non linéaire, une correction journalière des données basée sur une série de référence sélectionnée, pour chaque période non homogène, entre les séries des six stations météorologiques limitrophes. La sélection a été basée sur le coefficient de corrélation en préférant, pour chaque période, la série limitrophe qui a la meilleure corrélation avec la série candidate. Les données homogénéisées ont été agrégées pour obtenir les paramètres mensuels: on a ainsi calculé les valeurs moyennes de toute la période considérée (1951-2009). Afin d'obtenir les tendances principales à niveau annuel, on a analysé le développement pendant le temps de toutes les variables climatiques disponibles (température et précipitations): on a calculé les trends existants et évalué si les résultats sont statistiquement significatifs, avec le test de Mann-Kendall.

La recherche historique relative aux épisodes d'avalanche a permis de déterminer les saisons concernées par les événements les plus intenses et les plus dangereux. Ils ont donc été analysés et décrits en corrélant les données d'enneigement et de température, pour rechercher les facteurs déclenchants, cause de ces événements. Une attention spéciale a été portée à la saison 2008-09, très significative pour la quantité des précipitations neigeuses et pour ses épisodes d'avalanches.

2. Résultats

Toutes les données climatiques (température, précipitations et neige) des stations de l'Alpe Devero et de Formazza Vannino ont été analysées de janvier 1951 à mai 2009. Les valeurs moyennes mensuelles, calculées pour chaque paramètre, sont résumées sur le tableau 2 et 3.

Tableau 2 : Principaux paramètres climatiques calculés pour la station de Alpe Devero pendant la période 1951-2009: TM = Température maximum (°C), Tm = Température minimum (°C), Jg = Jours de gel, Jsd = Jours sans décongélation, P = Précipitations (mm), Jp = Jours de pluie, En = Epaisseur de la neige au sol (cm), EnM = Epaisseur maximum de la neige au sol (cm), Hn = Hauteur cumulée mensuelle de la neige au sol (cm), Jn = Jours neigeux.

DEVERO	TM	Tm	Jg	Jsd	P	Jp	En	EnM	Hn	Jn
JANVIER	1,2	-9,8	30	11	69,6	9	103,5	139,2	80,5	6
FÉVRIER	2,5	-9,4	28	8	81,2	8	125,2	161,2	84,4	6
MARS	6,0	-5,7	28	2	103,5	10	124,5	166,0	78,6	5
AVRIL	8,3	-2,4	22	0	149,3	11	98,6	142,7	63,1	4
MAI	11,8	1,4	8	0	185,4	13	33,3	72,5	10,6	1
JUIN	15,9	4,2	3	0	152,7	12	1,7	6,9	0,2	0
JUILLET	18,1	6,3	0	0	107,6	10	0,0	0,0	0,0	0
AOUT	17,6	5,9	0	0	139,5	11	0,0	0,0	0,0	0
SEPTEMBRE	12,4	3,0	5	0	142,8	9	0,1	1,0	1,0	0
OCTOBRE	8,4	-0,7	17	0	192,7	10	2,2	12,0	13,8	1
NOVEMBRE	3,8	-5,0	26	4	156,9	10	25,3	63,0	75,2	6
DÉCEMBRE	1,8	-8,2	30	10	89,1	9	67,0	106,7	86,4	6

Tableau 3 : Principaux paramètres climatiques calculés pour la station de Lago Vannino pendant la période 1951-2009: TM = Température maximum (°C), Tm = Température minimum (°C), Jg = Jours de gel, Jsd = Jours sans décongélation, P = Précipitations (mm), Jp = Jours de pluie, En = Epaisseur de la neige au sol (cm), EnM = Epaisseur maximum de la neige au sol (cm), Hn = Hauteur cumulée mensuelle de la neige au sol (cm), Jn = Jours neigeux.

VANNINO	TM	Tm	Jg	Jsd	P	Jp	En	EnM	Hn	Jn
JANVIER	-2,7	-11,5	31	22	59,5	9	160,8	200,0	95,1	7
FÉVRIER	-1,3	-11,6	28	16	61,8	8	194,6	233,5	92,4	7
MARS	0,1	-9,8	31	15	64,5	9	206,5	249,4	87,4	6
AVRIL	3,4	-6,7	29	7	100,5	11	205,1	254,9	88,5	6
MAI	6,8	-2,2	23	2	133,8	13	143,8	202,6	30,4	3
JUIN	11,2	1,0	11	0	133,5	13	32,9	80,1	3,4	0
JUILLET	14,1	4,2	4	0	103,0	11	1,1	5,8	0,5	0
AOUT	13,5	4,6	3	0	144,8	13	0,0	0,3	0,4	0
SEPTEMBRE	9,5	0,7	12	0	139,6	11	0,6	5,2	7,2	1
OCTOBRE	5,6	-2,7	24	3	150,8	10	8,5	31,8	39,0	4
NOVEMBRE	0,5	-7,5	29	12	104,7	11	54,3	99,1	102,4	8
DÉCEMBRE	-2,2	-10,0	31	20	68,0	9	111,9	155,8	98,6	7

L'analyse historique des observations pluviométriques a été réalisée afin de connaître plus en détail les aspects du climat. Sur la base de l'analyse pluviométrique on a identifié le régime pluviométrique (Mori, 1969 et Pinna, 1990): pour la station de Devero le régime est SUBALPIN (tendance bimodale avec deux pics au printemps et en automne et minimum

principal en hiver) ; pour la station de Vannino, le régime est SUBCONTINENTAL, avec un maximum principal en automne, un minimum principal en hiver et un maximum secondaire en été. La différence entre les régimes pluviométriques des deux stations est dû à la différence d'altitude: le régime SUBALPIN est typique des stations situées à des altitudes inférieures, le SUBCONTINENTAL des stations en haute altitude. L'analyse nivométrique réalisée sur la base de la série complète des données, de 1951 à 2009, a permis de déterminer les régimes nivométriques des deux stations:

- Devero: régime *unimodale à maximum en hiver*, avec le maximum concentré dans le mois de février (l'épaisseur de la neige au sol de février est égal à 125 cm);
- Vannino: régime *équilibré* (à maximum étalé), avec des valeurs de quantité de neige au sol environ équivalentes en février, mars et avril (respectivement: 195, 206 et 205 cm).

Afin d'obtenir les tendances principales (positive ou négative), on a analysé le développement annuel de toutes les variables climatiques disponibles: température, précipitations, précipitations neigeuses. On a donc tracé les graphiques des évolutions des données moyenne annuelles sur la période 1951-2009: pour chaque variable météorologique analysée, la droite de régression a été tracé avec son équation (Fig. 2).

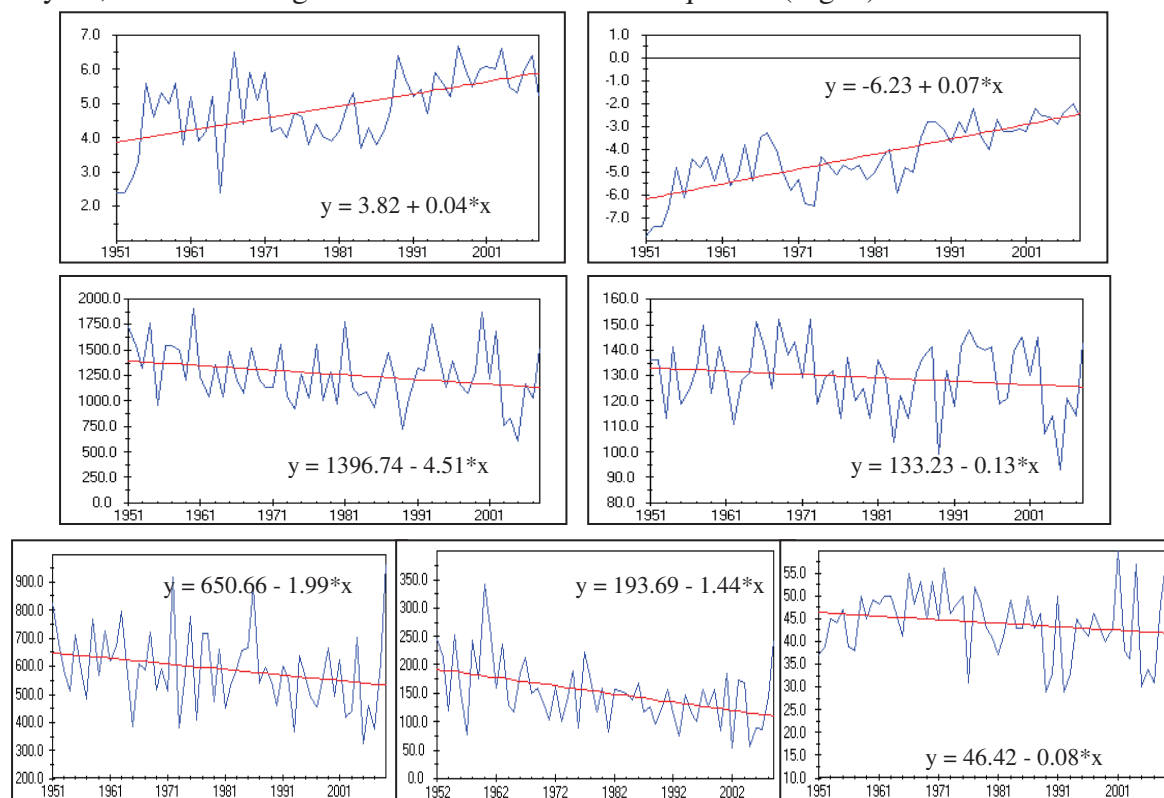


Figure 2 : Représentation graphique des trends climatiques pour la station de Vannino. Du haut vers le bas: température (maximum à gauche, minimum à droite), précipitations (cumulées à gauche, nombre de jours de pluie à droite), précipitations neigeuses (cumulées à gauche, épaisseur de la neige au sol en centre, nombre de jours neigeux à droite).

Pour vérifier ces tendances principales, on a calculé les grandeurs statistiques et évalué la significativité statistique, avec le test non-paramétrique de Mann-Kendall: les résultats de ces analyses sont résumés sur le tableau 4. On peut observer que, pour les deux stations, au cours du temps, il y a une augmentation des températures maximum et minimum: ce résultat est en accord avec les tendances prévues sur la base des études internationales sur le changement climatique. En particulier, les résultats sont en accord avec la bibliographie nationale et internationale (Brunetti *et al.*, 2004, Bohm *et al.*, 2001), selon lequel les séries des températures minimum présentent un accroissement supérieur (+ 0,07 °C par an), par rapport à les séries des températures maximum (+ 0,04 °C par an) (Fratianni et Acquaotta, 2009).

Tableau 4 : Principaux trends calculés à niveau annuel, équation de la droite de régression, déviation standard (D_S), significativité statistique selon le test de Mann-Kendall (M_K).

TRENDS	Devero	D_S	M_K	Vannino	D_S	M_K
Température maximum (°C)	$y = 7.9+0.04x$	0.01	Out	$y = 3.8+0.04x$	0.01	out
Température minimum (°C)	$y = -3.4+0.07x$	0.01	Out	$y = -6.2+0.07x$	0.01	out
Précipitations (mm)	$y = 1705-5.07x$	2.73	Ok	$y = 1396.7-4.51x$	2.24	ok
Jours de pluie	$y = 128.6-0.28x$	0.01	Out	$y = 133.2-0.13x$	0.11	ok
Hauter cumulé de la neige au sol (cm)	$y = 472.4+0.01x$	1.11	Ok	$y = 650.7-1.99x$	1.04	out
Epaisseur moyenne de la neige au sol (cm)	$y = 104.2-0.82x$	0.28	Out	$y = 193.7-1.44x$	0.41	out
Jours neigeux	$y = 34.9-0.02x$	0.06	Ok	$y = 46.4-0.08x$	0.06	ok

Pour les précipitations, on note, par contre, une diminution de la quantité cumulée de pluie et du nombre de jours de pluie, pour les deux stations. Pour les précipitations cumulées de l'épaisseur du manteau neigeux, au cours du temps, on a vérifié une diminution pour la station de Vannino. Au contraire, pour la station de Devero on a vérifié une légère augmentation. L'épaisseur du manteau neigeux et le nombre de jours neigeux montre, par contre, une tendance négative pour les deux stations.

L'analyse relative aux principaux épisodes d'avalanches vérifiées en Vallée de Formazza a permis de rechercher une corrélation entre la donnée climatique et l'épisode d'avalanche même. Dans la plupart de cas, il y a une corrélation entre l'épisode d'avalanche et une précipitation neigeuse très intense constatée dans les jours immédiatement précédents: l'épisode plus grave dans la période d'étude, daté du 12 février 1951, est dû à l'épisode neigeux le plus important du siècle dernier (180 cm de neige fraîche en 72 heures près de la station de Vannino). En ce qui concerne la saison 2008-09, l'épisode d'avalanche survenu le 15 décembre rentre dans un cadre général critique qui a intéressé tout le Piémont les 14-17 décembre, avec des précipitations intenses et diffuses sur toute la région. De l'observation du graphique en figure 3 on peut observer que le 15 décembre, pour lequel est arrivé l'épisode avalancheux on a enregistré un pic maximum de la quantité de neige fraîche et une augmentation de la température maximum. Il est donc possible d'envisager une corrélation entre l'épisode d'avalanche et la donnée climatique: l'augmentation de la neige fraîche et de la température maximum peuvent être considérées comme causes des avalanches.

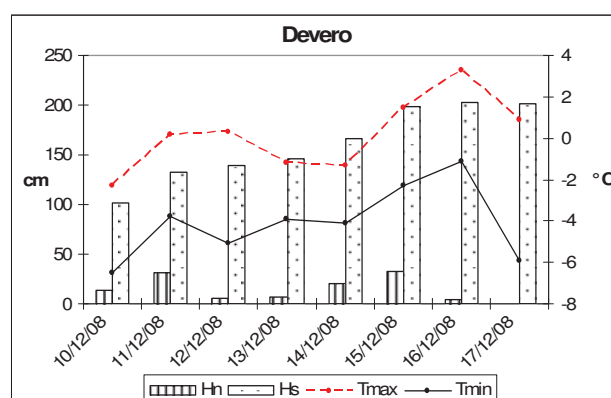


Figure 3 : Données nivométriques (Hn: hauteur de la neige fraîche et Hs: épaisseur de la neige au sol) et thermométriques (Tmax et Tmin) à l'occasion de l'événement du 14-17 décembre 2008, près de la station Devero.

En autres cas, la même a été retrouvée avec une augmentation très rapide de la température, pouvant déclencher des phénomènes de fusion dans le manteau neigeux: c'est le cas de l'épisode plus intense de la saison 2008-09, près de la commune de Canza, survenu à 14 h le 28 février, lors d'un après-midi chaud et ensoleillé (température maximum de 9,4 °C près de la station de Devero). À partir de la CLPV (carte de localisation probable des

avalanches) de la Vallée Formazza (produite de Arpa Piemonte en 1994), on a réalisé une mise à jour de la carte, relative à l'étendue effective atteinte de l'avalanche déjà connue lors des chutes dans la saison 2008-2009 et relative à la représentation de trois nouvelles avalanches.

Conclusion

L'étude du Climat au niveau global demande la mise à disposition de bases de données climatiques complètes et de bonne qualité: avec une telle recherche, dans le cadre du projet ME.DA.RE., on a récupéré et numérisé deux nouvelles séries des données climatiques journaliers de la Vallée Ossola, sur lequel a été réalisée une analyse climatique complète. Comme recommandé par le *Working Group* su *Homogenisation and quality control in climatological databases*, dans le cadre de projet international COST-ES0601, pour cerner correctement les changements climatiques, il faut disposer de séries homogènes. Les deux séries des données ont été donc soumises à un procédé d'homogénéisation selon la méthode SPLIDHOM, reconnu au niveau international. À partir de l'étude sur la variabilité climatique, on a constaté une tendance positive pour les températures (avec une augmentation plus grande pour la température minimum) et une tendance négative pour les précipitations (liquide et solide), en accord avec les tendances constatées sur la base des études internationales sur le changement climatique.

Selon les buts du projet STR.ADA., on a analysé et déterminé une corrélation entre les principaux événements d'avalanche et les données climatiques. Avec le personnel de AINEVA (Associazione Interrégionale Neige et Avalanches) on a effectué des relèvements, pour ajourner la CLPV de la Vallée Formazza. Les perspectives futures d'une telle recherches concernent l'étude des principaux facteurs déclencheurs d'avalanches, avec une attention spéciale aux procès géomorphologiques qui peuvent influencer le détachement, aux processus qui se pourront se vérifier après la chute de l'avalanche et aux conséquences sur le paysage.

Remerciements au personnel de Arpa Lombardia pour l'accès aux données des Annales conservées près du siège de Milano et au personnel de Arpa Piemonte, en particulier à Marco Cordola, pour la disponibilité, la collaboration et son support logistique.

Bibliographie

- Brunetti M., Buffoni L., Mangianti F., Maugeri M., Nanni T., 2004 : Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Global and Planetary Change*, **40**, 141-149.
- Bohm R., Auer I., Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., Schoner W., 2001 : Regional temperature variability in the European Alps from homogenized instrumental time series. *Int. Journal of Climatology*, **21**, 1779-1801.
- Fratianni S., Acquaotta F., 2009 : Climate variability in North-Western Italy through the use of reconstructed and homogenized thermo-pluviometric series. *Annalen der Meteorologie*, **44**, 60-61.
- Mori A., 1969 : *Carta del regime delle precipitazioni*. CNR, Roma.
- Pèguy Ch. P., 1970 : *Précis de Climatologie*. Masson, Paris.
- Pinna M., 1990 : Le variazioni climatiche come problema scientifico. *Atti del Convegno della Società Geografica Italiana Roma, 5-6 Aprile 1990*, 9-63.
- Stèpànek P., 2005 : *AnClim – software for time series analysis*. Dpt of Geog, Fac. of Nat Sc, MU Brno, 1.47 MB.
- Wang X. L., Wen Q. H., Wu Y., 2007. Penalized maximal t Test for detecting undocumented mean change in climate data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **46**, 916-931.
- Zhang X. e Yang F., 2004. *RclimDex (1.0)*. User manual, 23 p.